# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**O que é um híbrido?**

***Um híbrido é um indivíduo formado a partir do cruzamento entre duas espécies diferentes.***

Supostos híbridos oriundos do cruzamento entre dois animais na natureza

Supostos híbridos oriundos do cruzamento entre um humano e um animal

Supostos híbridos oriundos de experiências em laboratório

Híbridos que têm sua existência atestada por meio da literatura científica

Híbridos que não têm sua existência atestada por meio da literatura científica

Híbridos que teriam sua existência confirmada através de fontes não científicas

**Apresentaremos essa explicação nesse vídeo**

Ausência de uma explicação que demonstre a impossibilidade biológica do híbrido

**Apresentaremos explicações mais racionais para a existência de tais indivíduos em vídeos dedicados a eles.**

Indivíduos que apresentam características morfológicas/comportamentais que o fazem se assemelhar a híbridos

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

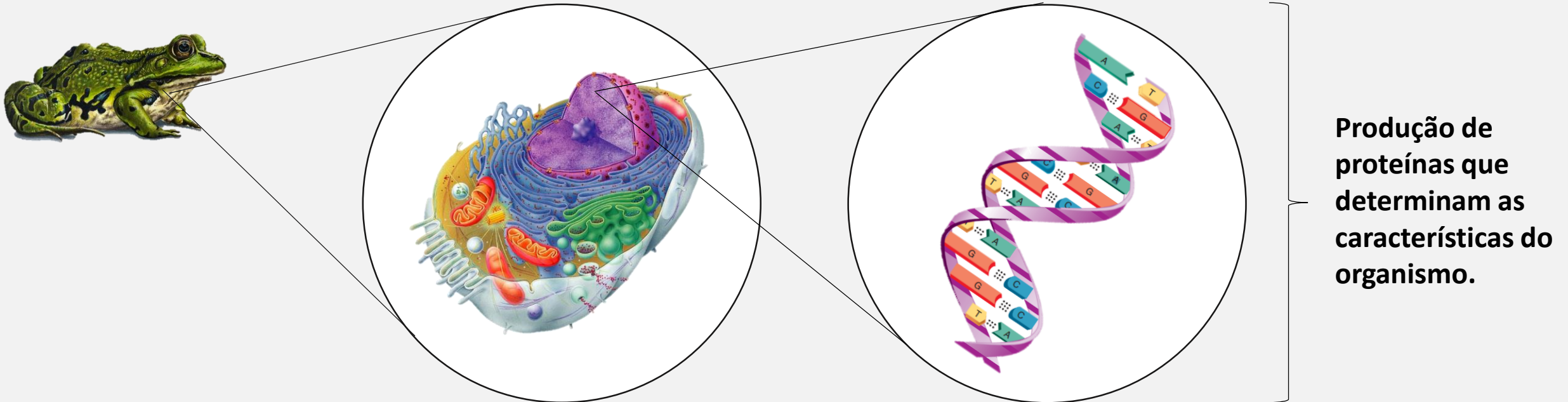
**O que é cruzamento?**

**Cruzamento é o processo de acasalamento que, nos mamíferos (classe que envolve a maioria dos híbridos que estudaremos) envolve a copulação, a liberação de espermatozoides no trato genital da fêmea e a fecundação.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

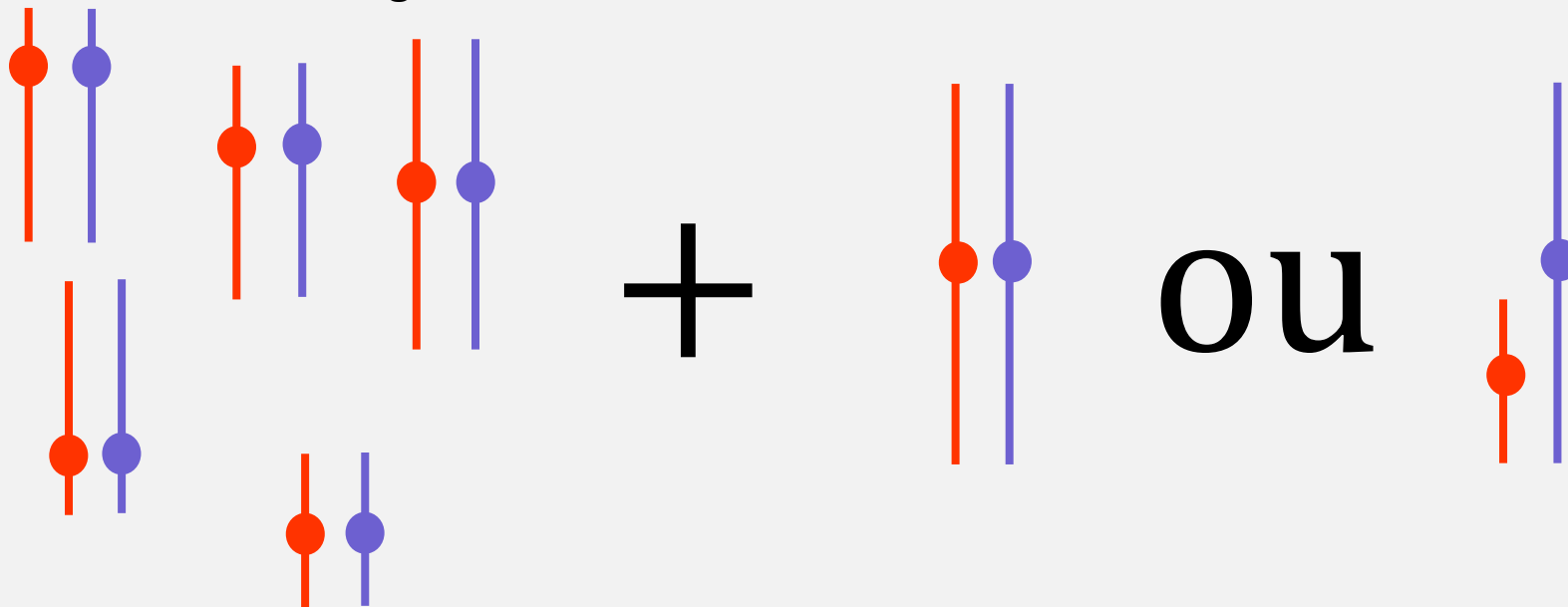
**Um pouco sobre cromossomos**

**Todo ser vivo possui células, as quais contém cromatina em seu núcleo. A cromatina é composta por filamentos de DNA. O DNA, por sua vez, contém todas as informações que determinam as características de um ser vivo.**

**Produção de proteínas que determinam as características do organismo.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Um pouco sobre cromossomos**

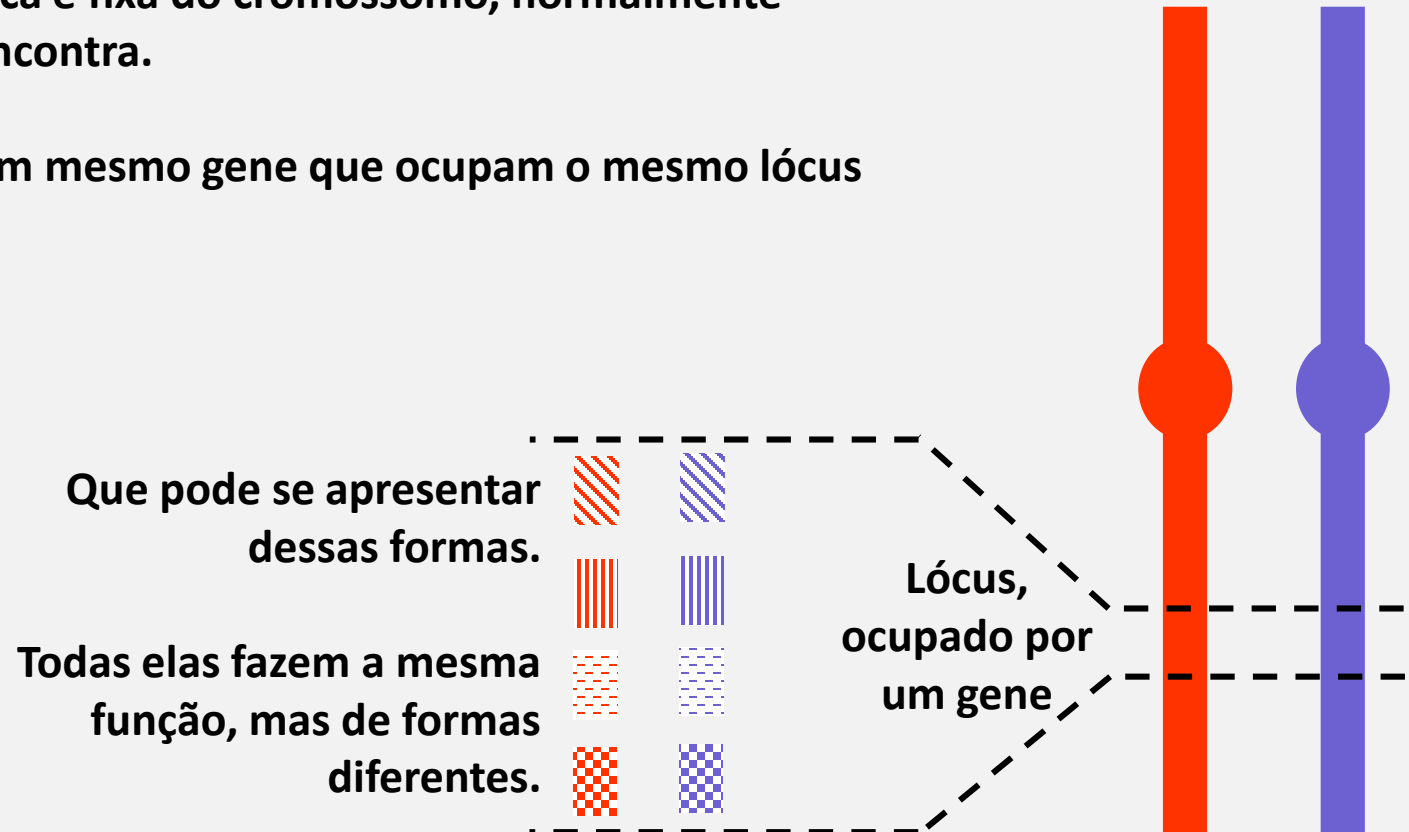
**Durante a divisão celular, a cromatina se organiza na forma de cromossomos. Todo ser vivo possui um número $2n$ de cromossomos, sendo $2$ alossomos (que determinam o sexo do indivíduo) e $2n - 2$ autossomos.**

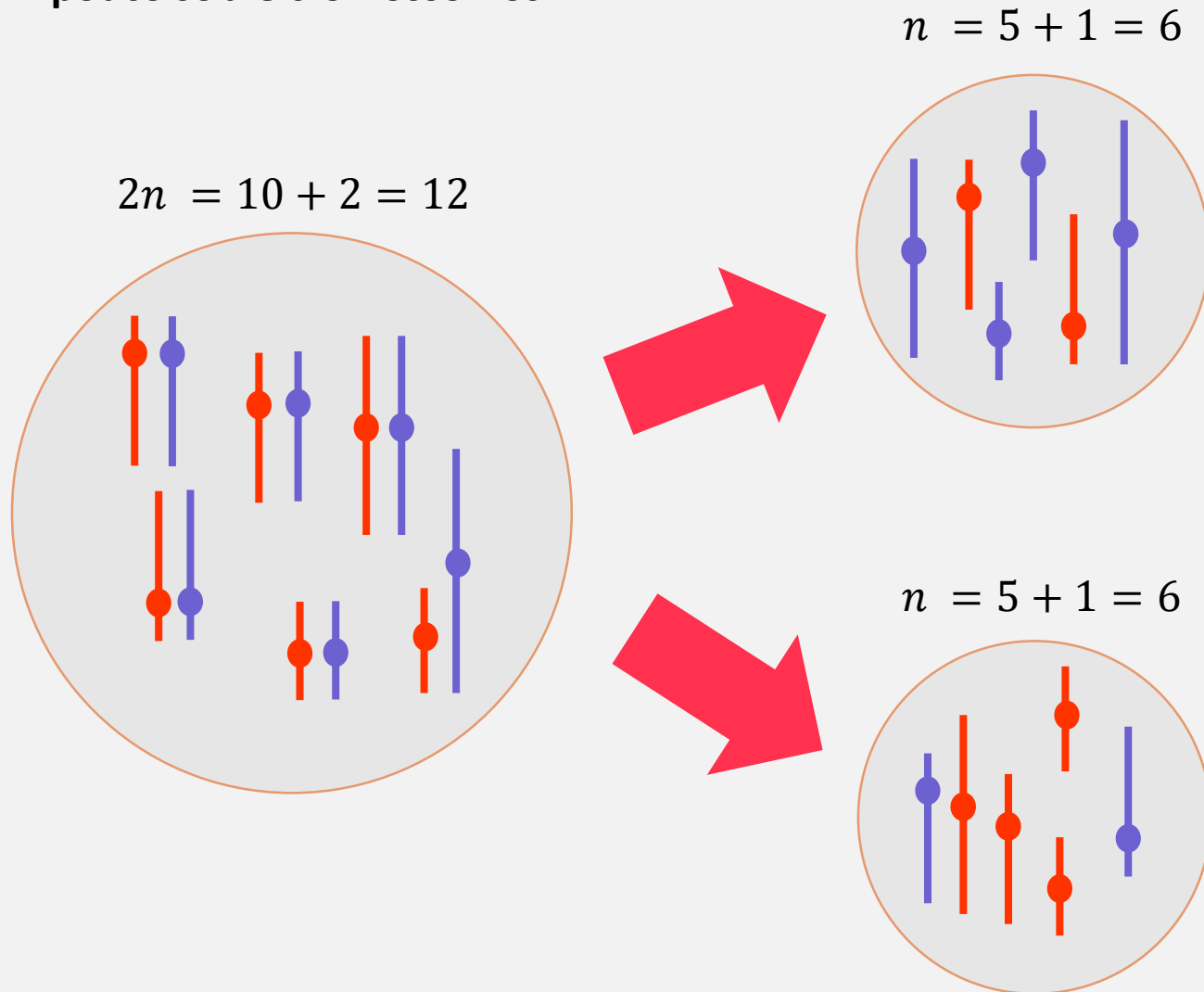
**Metade dos cromossomos (autossomos e alossomos) são de origem materna, e metade do origem paterna. Os autossomos formam pares, um de cada progenitor, e esses pares são chamados de cromossomos homólogos.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Um pouco sobre cromossomos**

**Chamamos de gene o trecho do DNA que produz uma dada molécula.**

**Damos o nome de lócus à uma região específica e fixa do cromossomo, normalmente correspondente à posição onde um gene se encontra.**

**Chamamos de alelos formas alternativas de um mesmo gene que ocupam o mesmo lócus em cromossomos homólogos.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Um pouco sobre cromossomos**

**Ao produzir gametas, as células de um organismo realizam meiose.**

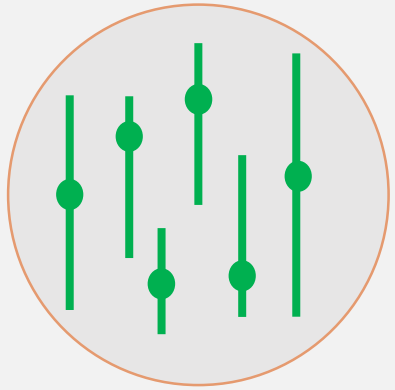
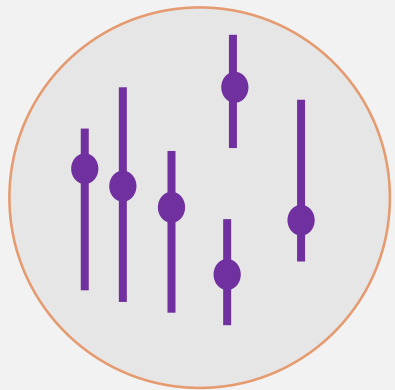
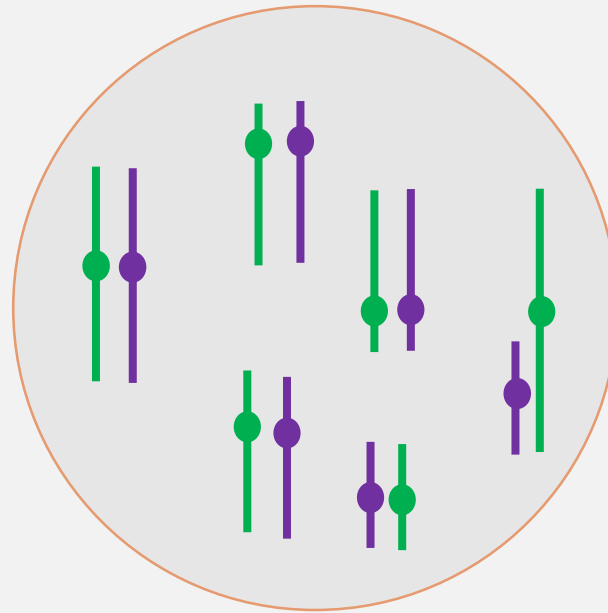
**Nesse processo, são obtidas células-filhas, cada uma com $n$ cromossomos, cada um proveniente de um par de homólogos.**

**Esses $n$ cromossomos constituem de uma seleção aleatória de cromossomos de origem paterna ou materna.**

**É assim que os óvulos e espermatozoides são produzidos.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Um pouco sobre cromossomos**

$n = 5 + 1 = 6$

$n = 5 + 1 = 6$

**No momento da fecundação, há fusão dos $n$ cromossomos presentes em cada gameta, originando um novo indivíduo com $2n$ cromossomos.**

**Os alossomos determinarão o sexo do indivíduo, além de algumas características.**

**Os autossomos determinarão as demais características.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Um pouco sobre cromossomos**

**Cada espécie possui uma quantidade $2n$ de cromossomos. Algumas delas:**

| Common Name | Species | Diploid number | Common Name | Species | Diploid number |
|---|---|---|---|---|---|
| Animals (2n) | | | Plants (2n) | | |
| Human | *Homo sapiens* | 46 | Corn | *Zea mays* | 20 |
| Monkey | *Macaca mulatta* | 42 | Potato | *S. tuberosum* | 48 |
| Dog | *Canis familiaris* | 78 | Green algae | *A. mediterranea* | 20 |
| Cat | *Felis domesticus* | 38 | | | |
| Mouse | *Mus musculus* | 40 | Fungi (2n) | | |
| Frog | *Rana pipiens* | 26 | Yeast | *S. cerevisiae* | 32 |
| Fruit fly | *Drosophila melanogaster* | 8 | Fungi (1n) | | Haploid number |
| Flatworm | *Planaria torva* | 16 | Mold | *Penicillium species* | 4 |

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**O que são híbridos?**

***Um híbrido é um indivíduo formado a partir do cruzamento entre duas espécies diferentes.***

**Existem diversos fatores que podem fazer com que esse cruzamento não ocorra:**

- **Isolamento ecológico: indivíduos vivem em habitats diferentes.**
- **Isolamento temporal: indivíduos têm períodos férteis diferentes.**
- **Isolamento comportamental: indivíduos têm rituais de acasalamento diferentes.**
- **Isolamento mecânico: o acasalamento é tentado, mas não há transferência de esperma.**

**Em todos esses casos, não simplesmente há acasalamento espontâneo.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## O que são híbridos?

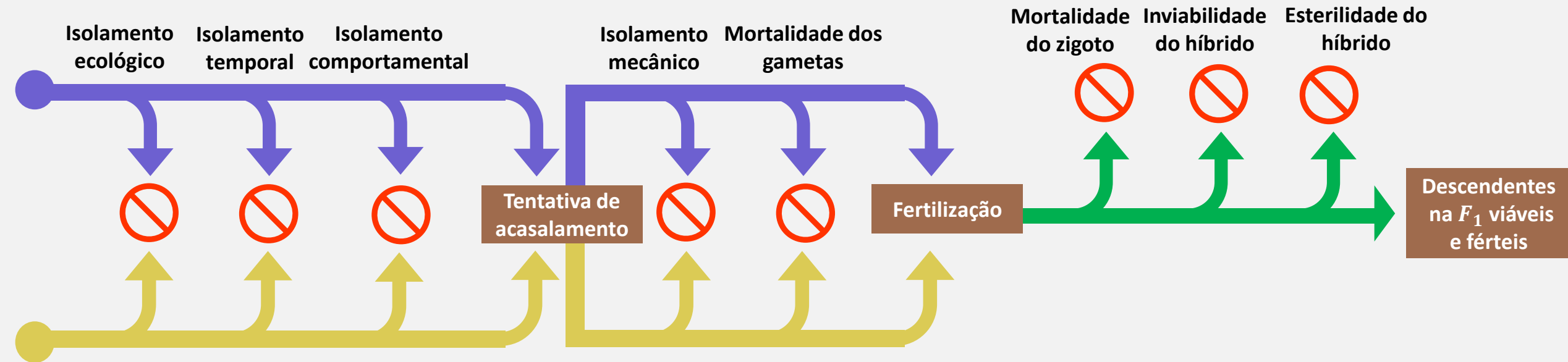
***Um híbrido é um indivíduo formado a partir do cruzamento entre duas espécies diferentes.***

**Quando o cruzamento ocorre, uma dessas possibilidades acontece:**

- **Mortalidade dos gametas**
- **Mortalidade do zigoto**
- **Inviabilidade do híbrido**
- **Esterilidade do híbrido**
- **Breakdown da segunda geração**
- **Híbridos totalmente viáveis**

**Em nosso caso, suporemos que o cruzamento ocorreu, seja de forma forçada ou na natureza. Então, resta descobrirmos: em qual dessas categorias os híbridos de cada par de animais pode entrar?**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**O que são híbridos?**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Mortalidade dos gametas

O esperma pode encontrar uma reação antigênica no trato genital do organismo do sexo feminino, e assim ser imobilizado ou morto antes que ele tenha a chance de chegar ao óvulo.

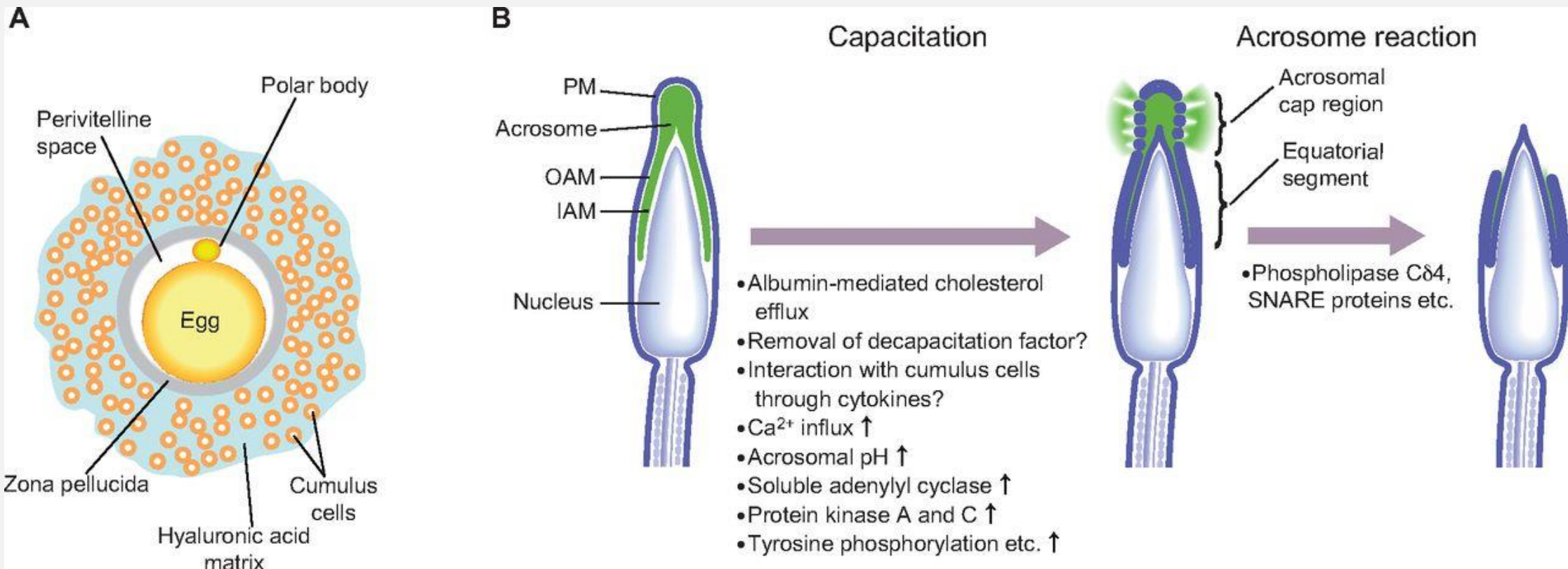
Ainda que não haja reações antigênicas, o esperma pode morrer porque ele não consegue penetrar a membrana do óvulo, ou não está pronto para fecundação quando chega ao óvulo.

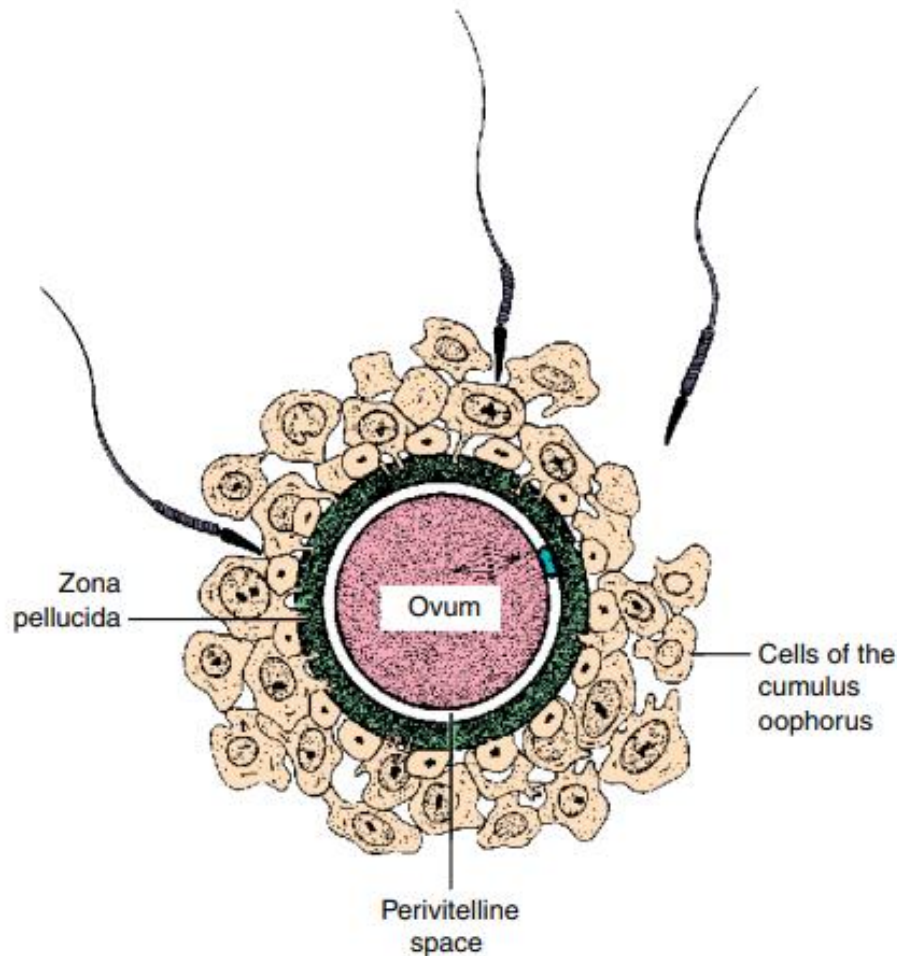
Isso acontece porque o mecanismo de fecundação é bastante complexo: envolve uma série de enzimas, proteínas e reações que muitas vezes são diferentes entre espécies distantes.

Assim, as proteínas que interagiriam no processo de fecundação normal não interagem da forma que seria esperada em um cruzamento dentro da própria espécie.

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

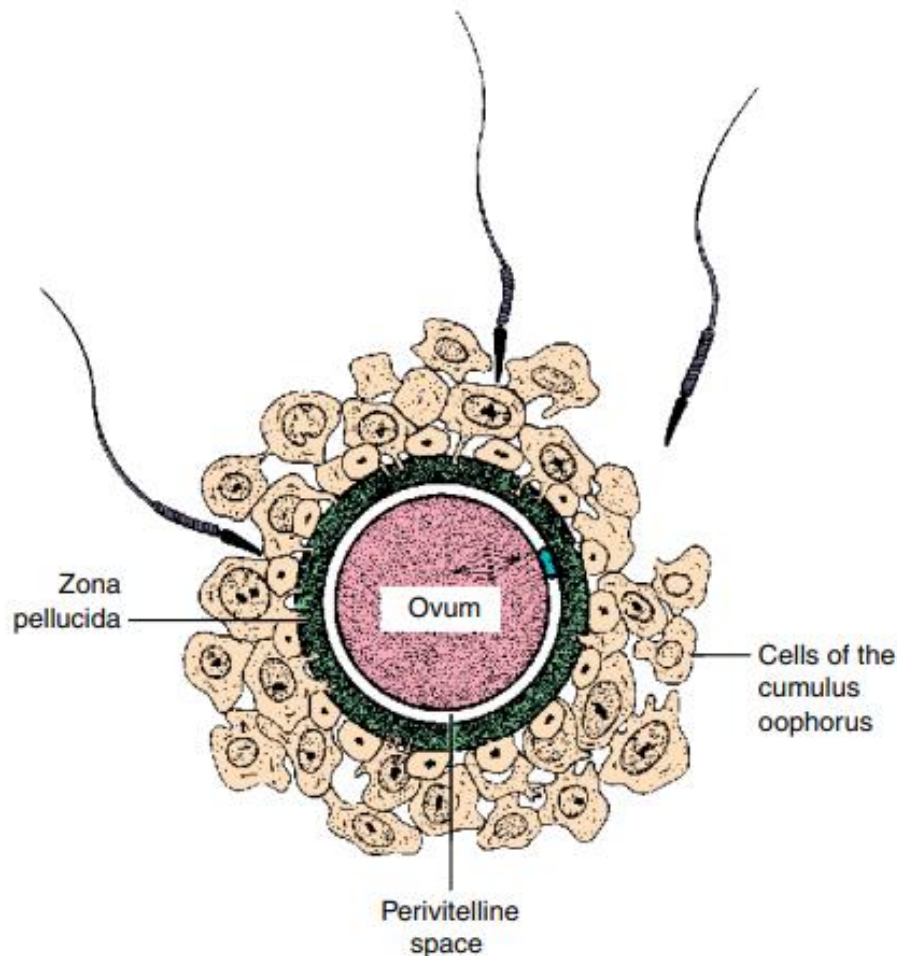
## Mortalidade dos gametas

**Nos mamíferos, o espermatozoide não está pronto para fertilização no momento em que ele sai do testículo do macho: ele precisa, primeiro, sofrer capacitação no trato genital da fêmea.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Compreender o que acontece em humanos pode nos ajudar

**No momento da copulação, o espermatozoide tenta chegar até o óvulo. Quando isso acontece, ele primeiro precisa passar pelo Cumulus oophorus, um conjunto de células adjacentes ao óvulo.**

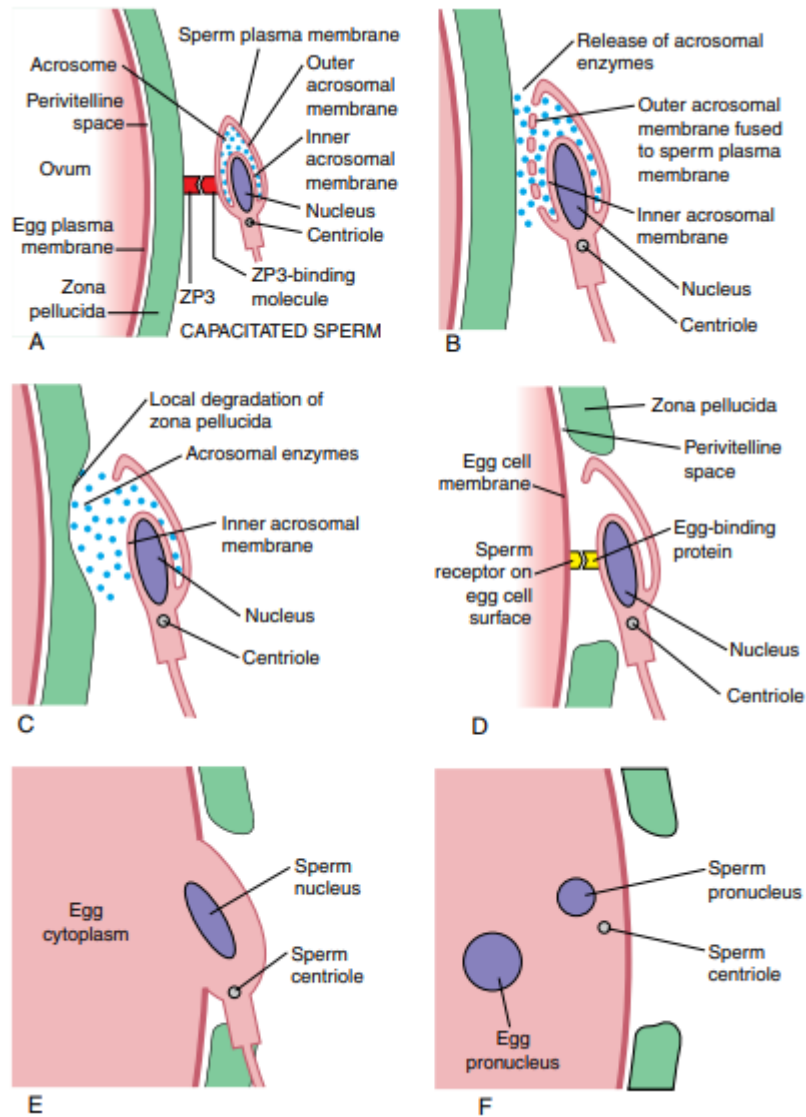
**Isso é feito por meio da liberação da enzima hialuronidase, que dissolve o ácido hialurônico, um componente do material que liga essas células e permitindo, assim, sua passagem.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Compreender o que acontece em humanos pode nos ajudar

**No momento da copulação, o espermatozoide tenta chegar até o óvulo. Quando isso acontece, ele primeiro precisa passar pelo Cumulus oophorus, um conjunto de células adjacentes ao óvulo.**

**Isso é feito por meio da liberação da enzima hialuronidase, que dissolve o ácido hialurônico, um componente do material que liga essas células e permitindo, assim, sua passagem.**

**Em seguida, o espermatozoide ainda precisa passar pela zona pelúcida, uma camada composta de 3 glicoproteínas chamadas ZP1, ZP2 e ZP3. Receptores de ZP3 no esperma permitem sua adesão à zona pelúcida.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Os acrossomos (organelas situadas na cabeça dos espermatozoides) liberam enzimas que degradam a zona pelúcida.**

**As membranas das duas células se fundem, permitindo ao núcleo e centríolo do esperma se juntarem ao citoplasma do óvulo.**

**Os dois núcleos migram em direção ao outro para singamia.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Mortalidade dos gametas

**Espécies com mecanismos e tempos de capacitação diferentes provavelmente implicariam em mortalidade dos gametas caso cruzassem entre si.**

TABLE 5. Time Required for Capacitation of Spermatozoa *in Vivo* [a]

| Species | Time (hr) |
|---|---|
| Mouse | <1 |
| Sheep | 1.5 |
| Rat | 2–3 |
| Hamster | 2–4 |
| Pig | 3–6 |
| Ferret | 3.5–11.5 |
| Rabbit | 5 |
| Rhesus monkey | 5–6 |
| Man | 5–6 |

[a] Austin (1974).

**As enzimas que dissolvem o ácido hialurônico também parecem ser uma particularidade de cada espécie.**

1974b). Mammalian sperm hyaluronidases appear to be immunologically tissue and species specific (Metz, 1972, 1973).

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Mortalidade dos gametas

A penetração do esperma na zona pelúcida também costuma ser uma particularidade de cada espécie.

Por exemplo, o esperma de hamster não penetra a zona pelúcida de ratos ou camundongos. O mesmo ocorre com porquinhos da Índia ou hamsters.

Chang (1972). Penetration of the zona pellucida is species specific, e.g. capacitated hamster sperm do not enter mouse (Yanagimachi, 1964) or rat (Barros, 1968) eggs. This is due, at least in part, to the fact that limited binding occurs with the zona pellucida of these species (Hartmann *et al.*, 1972). It has also been observed that capacitated guinea pig sperm do not penetrate hamster eggs, although they will fuse with zona-free eggs (Yanagimachi, 1972b).

Assim, por mais que a fusão ocorra entre o óvulo e o esperma sem a zona pelúcida, a penetração não ocorre e, portanto, os gametas não conseguem se fundir em condições reais.

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Mortalidade do zigoto

O desenvolvimento do óvulo fertilizado é irregular, e pode cessar em qualquer estágio entre a fertilização e o nascimento.

Alguns autores usam o termo para incluir defeitos e dificuldades que o híbrido enfrenta para crescer e sobreviver. Incluiremos essas características na próxima categoria.

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Mortalidade do zigoto

TABLE IV

Estimations of the magnitude of geographic isolation (G), habitat isolation (H), seasonal isolation (S), and developmental incompatibility (D). Complete isolation = 100. Absence of isolation = 0.

| Females \ Males | | *Rana sylvatica* | *Rana pipiens* | *Rana palustris* | *Rana clamitans* | *Rana catesbeiana* | *Rana septentrionalis* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Rana sylvatica* | G | | 29 | 61 | 59 | 68 | 80 |
| | H | | 70 | 40 | 30 | 70 | 60 |
| | S | | 60 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | D | | 100 | 100 | 100 | 100 | ? |
| *Rana pipiens* | G | 59 | | 74 | 67 | 62 | 88 |
| | H | 70 | | 70 | 70 | 85 | 80 |
| | S | 60 | | 40 | 100 | 100 | 100 |
| | D | 100 | | 0 | 100 | 100 | 100 |
| *Rana palustris* | G | 13 | 0 | | 3 | 23 | 72 |
| | H | 40 | 70 | | 60 | 70 | 50 |
| | S | 95 | 40 | | 95 | 100 | 100 |
| | D | 100 | 0 | | 100 | 100 | ? |
| *Rana clamitans* | G | 28 | 0 | 24 | | 18 | 22 |
| | H | 30 | 70 | 60 | | 30 | 20 |
| | S | 100 | 100 | 95 | | 50 | 0 |
| | D | 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 |
| *Rana catesbeiana* | G | 51 | 0 | 47 | 29 | | 93 |
| | H | 70 | 85 | 70 | 30 | | 30 |
| | S | 100 | 100 | 100 | 50 | | 50 |
| | D | 100 | 100 | 100 | 100 | | ? |
| *Rana septentrionalis* | G | 0 | 0 | 37 | 36 | 79 | |
| | H | 60 | 80 | 50 | 20 | 30 | |
| | S | 100 | 100 | 100 | 0 | 50 | |
| | D | ? | 100 | 100 | 100 | 95 | |

**Diferenças entre espécies de rãs (pertencentes ao mesmo gênero) são suficientes para provocar desenvolvimento anormal do zigoto.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Mortalidade do zigoto**

Table 1

INSEMINATION OF DOMESTIC RABBITS WITH COTTONTAIL RABBIT SPERM

| Method of Insemination and No. of Sperm/Rabbit | Time of Examination (hrs. after insemination) | No. of Eggs Examined | | Stages of Fertilized Eggs | No. of Extra-Sperm on the Fertilized Eggs |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | Fert. | | |
| Vaginal, about 150 million | 14–24 | 36 | 11 | 11: from the enlargement of sperm head to pronuclear chromosomes | 0–2 |
| | 27 | 21 | 7 | 7: 2-cell | 0–1 |
| | 48 | 32 | 12 | 3: 4-cell<br>5: 8-cell<br>4: 12-cell | |
| | 168 | 24 | 8 | 7: 4-cell to morulae<br>1: deg. early blastocyst | |
| | | | (34%) | | |
| Uterine, 60 million | 14–26 | 48 | 12 | 1: enlarged sperm head<br>10: pronuclear<br>1: 2-cell | 0–100 |
| | | | (25%) | | |
| Tubal, 10 million | 14–26 | 39 | 10 | 1: enlarged sperm head<br>8: pronuclear<br>1: 2-cell | 1–13 |
| | | | (26%) | | |
| Total | | 200 | 60 (30%) | | |

Combination of data from Chang and McDonough (1955) and Chang (1960).

**O mesmo ocorre com as diferenças entre coelhos domésticos e coelhos de rabo de algodão.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Mortalidade do zigoto**

Table 2

INSEMINATION OF DOMESTIC RABBITS WITH EUROPEAN HARE SPERM

| Time of Examination (hrs. after insemination) | No. of Eggs Examined | Stages of Eggs | No. of Extra-Sperm on the Egg |
|---|---|---|---|
| 14–22 | 31 | 31: from the enlargement of sperm head to cleavage | 0–20 |
| 24–31 | 26 | 2: 1-cell (Unfer. ?)<br>12: 2-cell<br>12: 4-cell | 1–18 |
| 49–73 | 55 | 7: 4-cell<br>13: 6–8-cell<br>10: 12–16-cell<br>25: Morulae | 0–21 |
| 96–168 | 58 | 1: 6-cell<br>1: Morula<br>42: Smooth morulae<br>14: Early blastocysts | |

Combination of data from Adams (1957) and Chang and Adams (1962).

**Ou com as diferenças entre coelhos e lebres.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Mortalidade do zigoto**

Table 3

DEVELOPMENT OF FERRET EGGS FERTILIZED BY MINK SPERM

| Seasons | No. of Ferrets Used | No. of Sperm Insemin. in Million/ferret (Date of Insem.) | Time of Examination, Days After Ovulation Injection (Stages of development) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2½ (Fertilized) | 4 (Cleaved) | 6–13 (Morulae Blastocysts) | 22–23 (Implantation Site) | 38–50 (Degenerate Embryos) |
| 1963 | 8 | Low (4/15–4/22) | 4/20 [1] (20%) | — | 0/18 [2] (0%) | — | 1/54 [2] (2%) |
| 1965 | 18 | 9–38 (3/23–4/7) | 16/69 [1] (23%) | 5/29 [1] (17%) | 6/51 [1] (14%) | 0/30 [2] (0%) | 6/24 [2] (25%) |
| 1966 | 6 | 28–58 (3/25) | — | — | 23/36 [2] (64%) | 11/24 [2, 3] (46%) | 16?/36 [2] (51%) |

[1] Based on number of eggs examined.
[2] Based on the estimated number of corpora lutea.
[3] Some embryos are degenerating.
Combination of data from Chang (1965b) and unpublished results.

**Ou entre furões e martas.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Mortalidade do zigoto

Isso acontece por que, apesar das espécies possuírem formas de fertilização compatíveis, os cromossomos de origem paterna e materna possuem genes tão diferentes a ponto dessa diferença impossibilitar o processo de divisão celular e clivagem.

O processo de desenvolvimento do embrião envolve ativação da maioria dos genes que estavam inativos no esperma e no óvulo durante a fertilização.

Assim, o fato de que cromossomos que deveriam conter instruções para as mesmas funções conterem instruções para funções diferentes faz com que seja inviável prosseguir com as primeiras divisões.

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Mortalidade do zigoto

**Outra possibilidade é a imunológica: se o feto produz proteínas que são estranhas ao corpo da mãe, o feto pode ser atacado pelo sistema imunológico da mãe em qualquer momento do desenvolvimento, provocado o aborto.**

Histological and immunological studies of post implantation death of *Mus caroli* embryos in the *Mus musculus* uterus

B. Anne Croy [1], Janet Rossant [1] and David A. Clark [2]

[1] *Department of Biological Sciences, Brock University, St. Catharines, Ont., and* [2] *Host Resistance Program, Departments of Medicine and Pathology, McMaster University Medical Centre, 1200 Main St. West, Hamilton, Ont., Canada*

(Received 19 February 1982; accepted 22 March 1982)

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Inviabilidade do híbrido

**Os genes das diferentes espécies podem interagir e prejudicar a vida do híbrido.**

**Assim, por mais que o nascimento ocorra, os híbridos são consideravelmente menos sucedidos no ambiente em relação às espécies que lhes deram origem.**

**Isso funciona, inclusive, como uma barreira reprodutiva: por mais que haja o nascimento de um híbrido, ele não conseguirá prosperar na natureza.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Inviabilidade do híbrido

**As causas da inviabilidade ainda envolvem as diferenças entre o DNA de origem materna e paterna.**

**O modelo de Bateson-Dobzhansky-Muller propõe uma explicação para a inviabilidade da espécie híbrida.**

**Na hibridização, os alelos $a$ e $b$ ocorrem juntos pela primeira vez, e essa combinação reduz a viabilidade do híbrido.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Inviabilidade do híbrido

**Os sistemas regulatórios são os mecanismos pelos quais ocorre a produção de proteínas ou RNA nos organismos.**

**A hipótese regulatória afirma que, para um organismo híbrido prosperar, é preciso que os dois sistemas regulatórios (fornecidos pelo esperma e pelo óvulo) sejam compatíveis.**

**Caso isso não aconteça, é muito provável que esse organismo morra ainda na fase zigótica (mortalidade do zigoto) ou que apresente diversos problemas de saúde.**

**É por essa razão que células de espécies bastante distantes conseguem hibridizar em laboratório, mas não são capazes de originar um novo organismo.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Esterilidade do híbrido

Os híbridos da primeira geração $F_1$ não são capazes de gerar descendentes.

Esse é o caso das mulas, dos ligers machos e de várias outras espécies. Porém, existem diversas causas que explicam a esterilidade.

Cada espécie progenitora contém um grande número de genes controlando o desenvolvimento das gônadas, a mobilidade do esperma, o processo da gametogênese, e assim por diante.

Se esses genes são suficientemente parecidos nas duas espécies, eles possivelmente produzirão um sistema compatível no híbrido, de forma que esse é total ou parcialmente fértil.

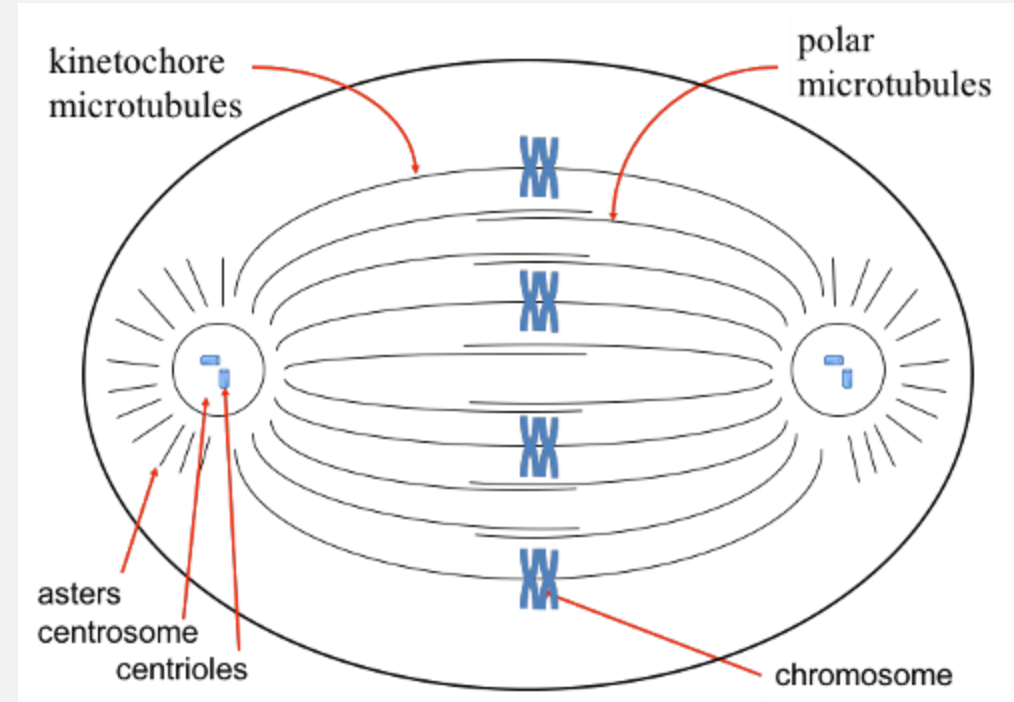
Por outro lado, se há uma incompatibilidade entre os genes dessas espécies podemos ter um impedimento na gametogênese, uma falha do pareamento na meiose, e assim por diante.

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

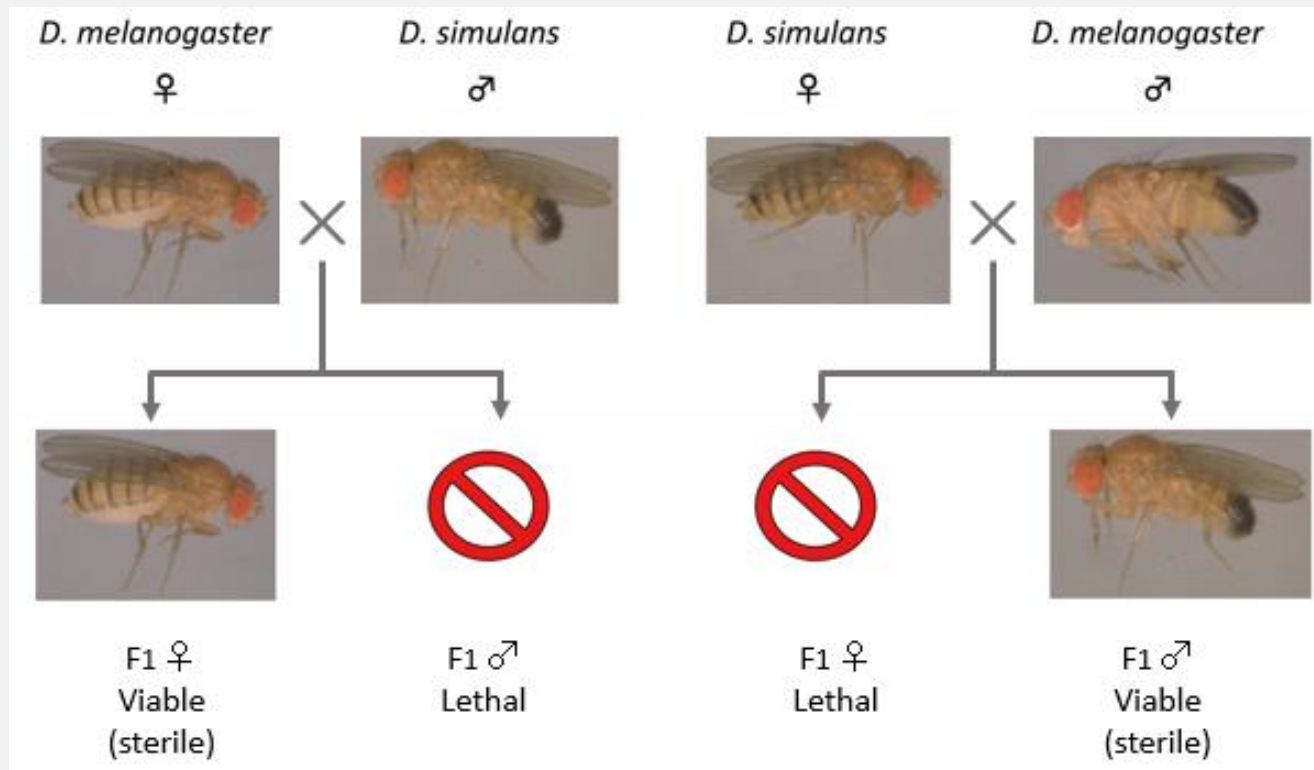
## Esterilidade do híbrido

**No quesito da meiose, algumas coisas podem acontecer:**

1. **Completo pareamento dos cromossomos e fisiologia da meiose normal.**
2. **Pareamento incompleto, mas meiose normal.**
3. **Pareamento completo, mas meiose anormal (fibras de fuso de tamanho anormal,  deposição anormal de ácidos nucleicos, separação atingida com dificuldade ou não atingida).**
4. **Pareamento incompleto, meiose anormal.**
5. **Nenhum pareamento, mas meiose normal.**
6. **Nenhum pareamento, meiose anormal.**

**Normalmente, híbridos nos grupos 1-2 são férteis, e híbridos nos grupos 3-6 são estéreis.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Esterilidade do híbrido**

**Nos híbridos entre drosófila melanogaster e drosófila simulans as gônadas são muito pequenas, e não há nenhuma produção de espermatozoides ou óvulos.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Esterilidade do híbrido

**Cruzamentos entre as espécies de insetos *Euschistus variolarius* e *Euschistus servus* são exemplos de híbridos férteis.**

**O mesmo acontece entre espécies de insetos *Cimex lectularius* e *Cimex columbarius*.**

**Ambos os pares possuem os mesmos números de cromossomos. E genes muito semelhantes.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Esterilidade do híbrido

**A meiose ainda é possível em algumas espécies com números de cromossomos diferentes.**

**Em híbridos entre as mariposas *Bombyx mori* ($n = 28$) e *Bombyx mandarina* ($n = 27$), ocorre o pareamento formando 26 pares e mais uma associação de 3 cromossomos.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

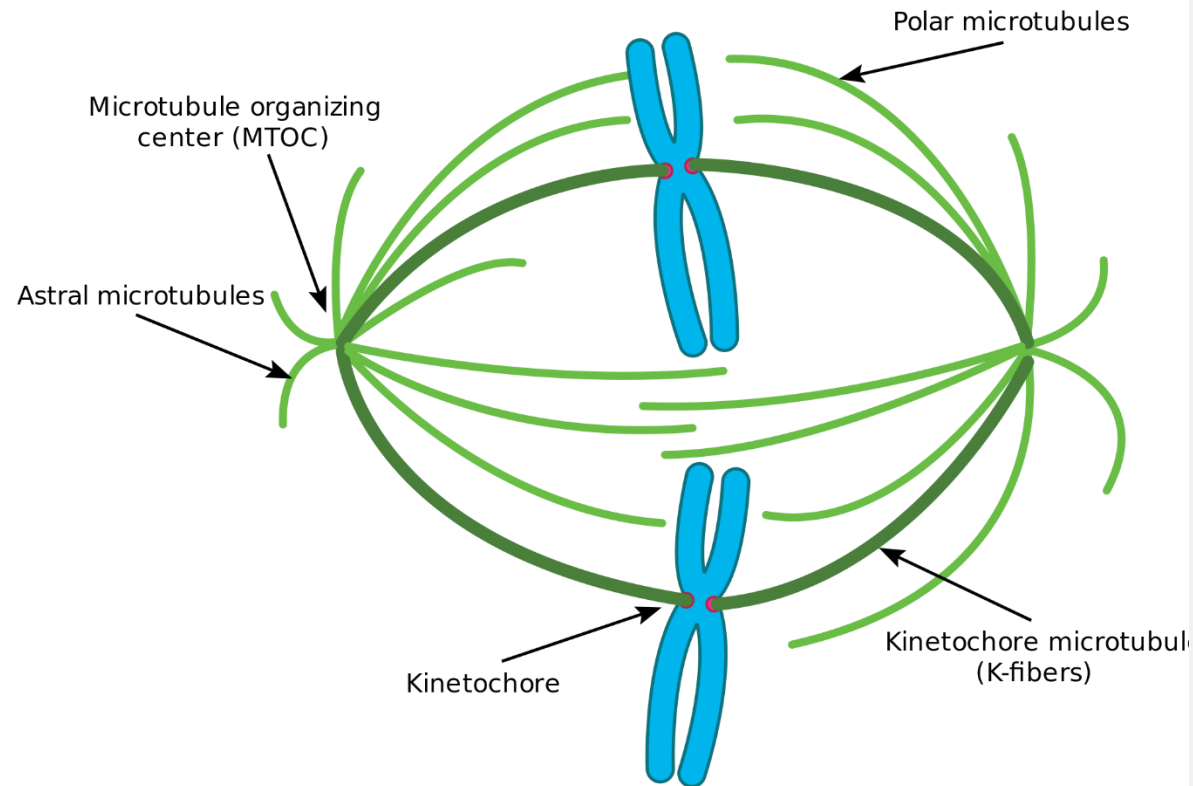
## Esterilidade do híbrido

**O sucesso no pareamento da meiose aparenta estar diretamente relacionado com o grau de parentesco entre as duas espécies.**

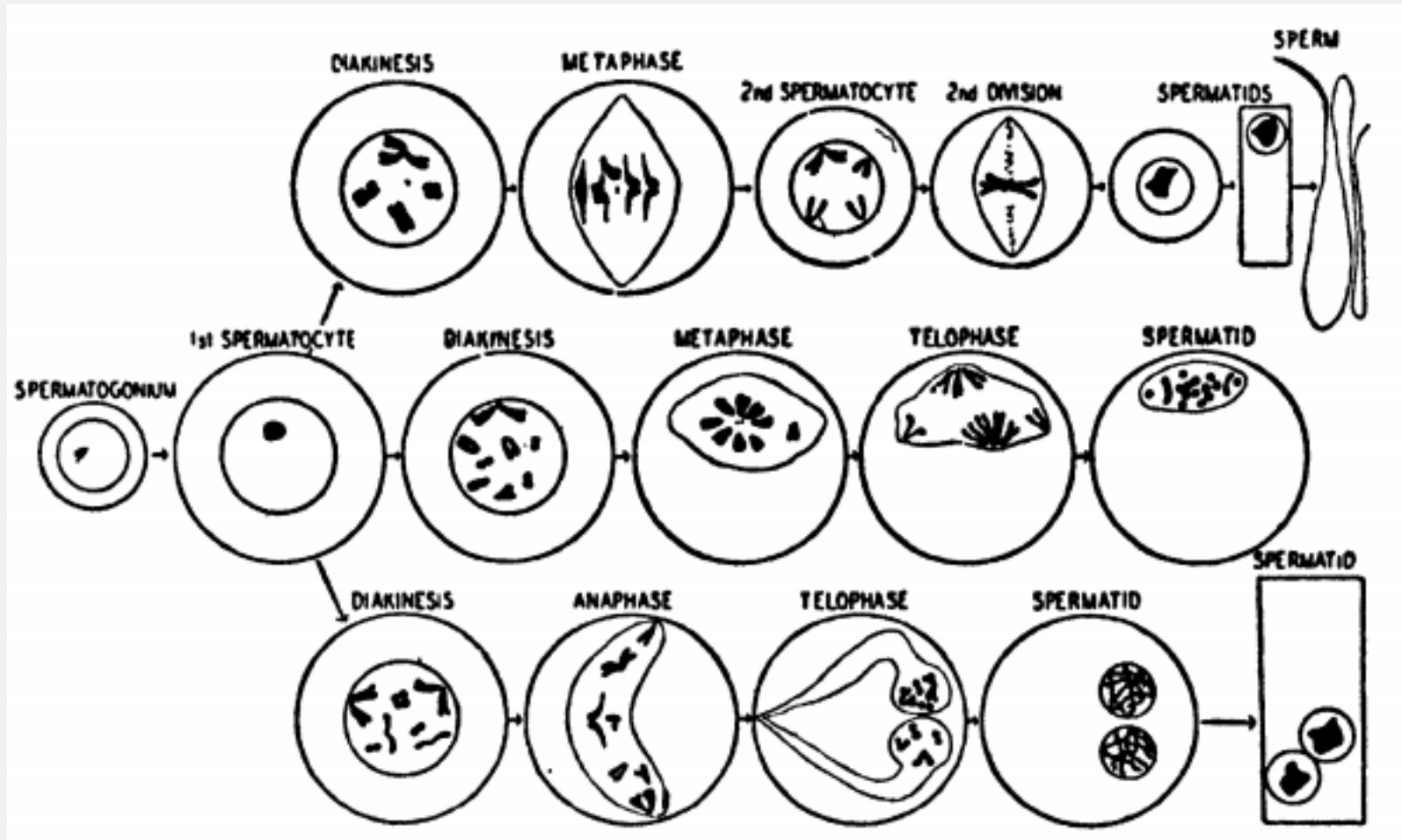
**Em híbridos entre mariposas do gênero *Pergesa* e do gênero *Celerio,* apenas 4 ou 5 pares de cromossomos são formados de um potencial de 29.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Esterilidade do híbrido

**Já em híbridos de gafanhotos do gênero *Chorthippus*, o pareamento de cromossomos é normal, mas o comportamento das fibras de fuso não permite que a espermiogênse ocorra e, portanto, os machos são inférteis.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Esterilidade do híbrido**

**O mesmo acontece nos cruzamentos envolvendo a mosca *Drosophila pseudoobscura*:**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Esterilidade do híbrido

**Já nas mulas o problema provavelmente está na meiose: na maioria dos casos, ela é extremamente anormal mas, raríssimos indivíduos, ela ocorre, e temos uma mula fértil.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Por que o sexo heterogamético costuma sofrer esterilidade e inviabilidade?**

**A regra de Haldane afirma que, se dentre a primeira geração ($F_1$) de híbridos, um dos sexos tem maior incidência de esterilidade ou inviabilidade, então esse é provavelmente o sexo heterogamético (XY no caso dos mamíferos).**

**Ela vale para 99% dos 223 casos de esterilidade restrita ao sexo e 90% dos 115 casos de inviabilidade restrita ao sexo.**

**As causas desse fenômeno ainda não são totalmente compreendidas,  mas existem algumas hipóteses que procuram explica-lo.**

EXAMPLES OF HALDANE'S RULE

| | Hybrid females | Hybrid males |
|---|---|---|
| *Drosophila* | XX | XY sterile, inviable |
| *Anopheles* | XX | XY sterile, inviable |
| *Aedes* | $X_fX_f$ | $X_fX_m$* sterile |
| Mammals | XX | XY sterile |
| Birds | ZW sterile, inviable | ZZ |
| Lepidoptera | ZW sterile, inviable | ZZ |

*$X_f$ and $X_m$ denote sex chromosomes that are largely homologous, with only a small sex-determining region.

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Por que o sexo heterogamético costuma sofrer esterilidade e inviabilidade?**

**A primeira explicação supõe que determinados genes podem ser benéficos ou indiferentes em dado panorama (ou seja, em um organismo puro), mas serem maléficos em outro (ou seja, em um organismo híbrido).**

**Quando esses genes são recessivos e ligados ao cromossomo X, um indivíduo com apenas um cromossomo X é mais suscetível a tais malefícios do que um indivíduo com dois cromossomos X e, portanto, com a possibilidade de uma manifestação dominante.**

**A segunda explicação supõe que os genes que causam inviabilidade entre duas espécies evoluem mais rápido no cromossomo Y do que no cromossomo X.**

**Isso seria explicado pelo fato de que os machos tendem a sofrer maior pressão evolutiva, uma vez que estão sujeitos à seleção sexual constante. Porém, essa explicação não resolve os casos em que a regra de Haldane se aplica para fêmeas heterozigóticas.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Em suma...**

**Conhecemos várias formas de interação que podem ocorrer entre duas espécies, as quais podem resultar na produção de um híbrido saudável e fértil, de um híbrido vivo, mas debilitado, no aborto de um feto, ou em nenhum híbrido.**

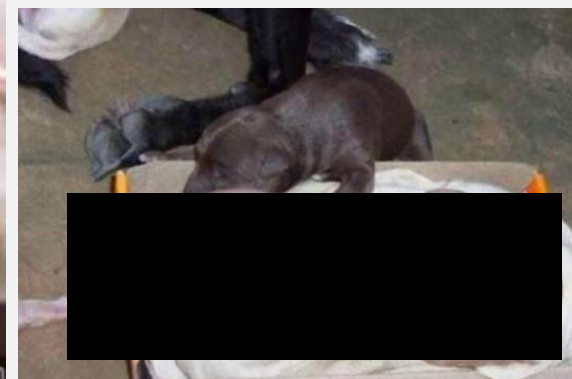
**Sabemos, também, alguns pares de animais que comprovadamente entram nessas categorias.**

**Mas como prever em qual categoria um par de animais arbitrário vai entrar?**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Alguns supostos híbridos que, sem comprovação, entrariam nas categoriais que analisamos.**

Híbridos entre coelhos e gatos ou entre vacas e veados seriam viáveis e possivelmente férteis na mitologia popular.

Híbridos entre humanos e porcos ou humanos e cachorros seriam inviáveis na mitologia popular.

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Alguns supostos híbridos que, sem comprovação, entrariam nas categoriais que analisamos.**

**A melhor forma de saber se um híbrido entre dois animais é possível é testando-o em laboratório.**

- **Porém, não temos os recursos para realizar essas experiências**

**A outra possibilidade é comparar a fisiologia das duas espécies e deduzir como eventuais incompatibilidades se manifestariam.**

- **Quanto mais parecidas forem as duas espécies, mais minuciosa essa análise precisará ser. Por mais que as diferenças entre as duas espécies sejam suficientes para impedir a existência do híbrido.**

- **Efetivamente, essa análise funciona bem apenas para espécies que pertençam a táxons genéricos diferentes, como aves e mamíferos.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Porém, podemos analisar os exemplos que já verificamos**

**Sabemos que os diferentes obstáculos que um híbrido pode enfrentar são causados por diferenças genéticas.**

**E sabemos que essas dificuldades escalam na mesma direção que as diferenças genéticas entre as duas espécies progenitoras.**

**Espécies geneticamente diferentes**

- Mortalidade dos gametas
- Mortalidade do zigoto
- Inviabilidade do híbrido
- Esterilidade do híbrido
- Breakdown da segunda geração
- Híbridos totalmente viáveis

**Espécies geneticamente parecidas**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

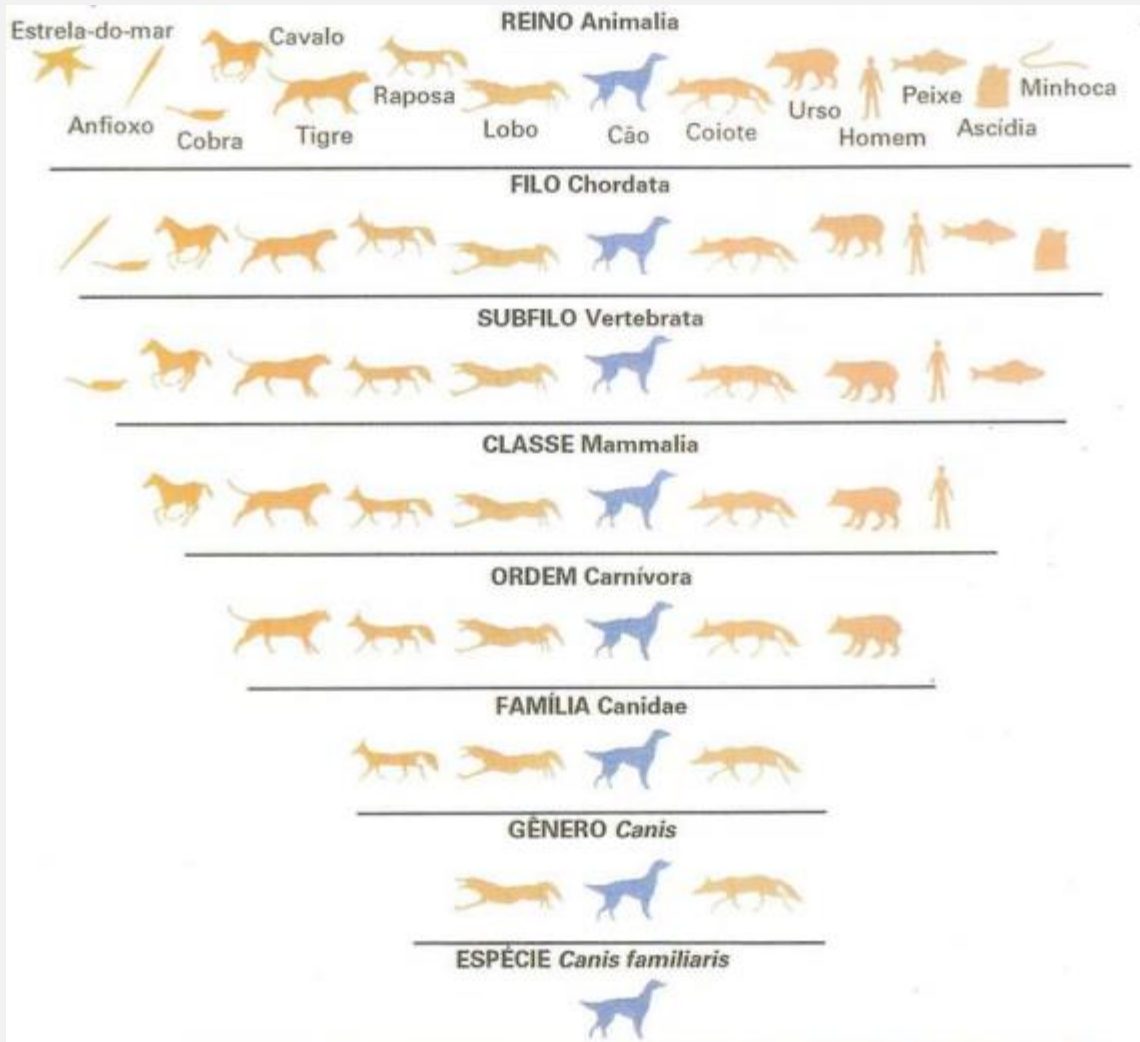
**Porém, podemos analisar os exemplos que já verificamos**

**Ainda assim, determinar se duas espécies são geneticamente parecidas envolve algoritmos complexos de comparação de regiões específicas do genoma.**

**Porém, existe uma forma mais simples de se avaliar qualitativamente o quão próximas duas espécies são. Não se trata de uma determinação absoluta, mas ela nos fornece informações bastante intuitivas para julgarmos a existência de um híbrido cujo não existem outras fontes a respeito.**

**Mas, para tanto, antes precisamos retomar alguns conhecimentos sobre espécies e especiação.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Noções de taxonomia

**O ramo da Biologia que trata da descrição, nomenclatura e classificação dos seres vivos chama-se taxonomia.**

**Carl von Linné (1707-1778) propôs um sistema de classificação dos seres vivos que, com modificações, é utilizado até hoje.**

**Para entender como um indivíduo é classificado em cada uma dessas categorias, precisamos entender algumas noções de evolução.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**As ideias envolvendo o parentesco evolutivo são sustentadas pelos seguintes princípios:**

- **Os organismos de uma população não são idênticos entre si, apresentando variações em seus caracteres.**

- **Uma característica de certo organismo, eventualmente, poderá ser modificada na descendência (através da mutação e permutação gênicas), passando a se apresentar com variações, que serão subsequentemente herdadas nas próximas gerações.**

- **Desta maneira, a característica está presente no ancestral exclusivo de todos os herdeiros, e também em todos os herdeiros, mas nestes com uma modificação ou variação. Essa nova variação ou novo estado da característica é considerado uma condição derivada, ou seja, surgiu a partir da modificação no estado do caráter previamente presente na linhagem ancestral.**

| | | |
|---|---|---|
| **Substituição** (Substituição de nucleótidos na cadeia do DNA) | Mutação Silencioso | Substituição de um nucleótido por outro, dando origem a um codão que codifica o mesmo aminoácido devido à redundância do código genético, por exemplo. |
| | Mutação com perda de sentido | Substituição de um nucleótido por outro, dando origem a um aminoácido diferente |
| | Mutação sem sentido | Substituição de um nucleótido de forma que o codão formado seja o codão de finalização, o que origina proteínas mais longas ou mais curtas |
| **Deleção** | Remoção de um ou mais nucleótidos da cadeia de DNA | |
| **Inserção** | Adição de um ou mais nucleótidos da cadeia de DNA | |

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**As ideias envolvendo o parentesco evolutivo são sustentadas pelos seguintes princípios:**

- **Os organismos de uma população não são idênticos entre si, apresentando variações em seus caracteres.**

- **Uma característica de certo organismo, eventualmente, poderá ser modificada na descendência (através da mutação e permutação gênicas), passando a se apresentar com variações, que serão subsequentemente herdadas nas próximas gerações.**

- **Desta maneira, a característica está presente no ancestral exclusivo de todos os herdeiros, e também em todos os herdeiros, mas nestes com uma modificação ou variação. Essa nova variação ou novo estado da característica é considerado uma condição derivada, ou seja, surgiu a partir da modificação no estado do caráter previamente presente na linhagem ancestral.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**As ideias envolvendo o parentesco evolutivo são sustentadas pelos seguintes princípios:**

- **Indivíduos com características diferentes se relacionam com o ambiente de formas diferentes. Os indivíduos cujas características favorecem a sobrevivência e a reprodução são dados como mais adaptados.**

- **Esses indivíduos têm mais chances de viver e de gerar descendentes, os quais irão herdar suas características.**

- **A seleção natural atua permanentemente sobre todas as populações, e o ambiente não é um sistema constante e instável.**

- **Assim, frações de uma população podem sofrer modificações diferentes ao longo do tempo.**

**Sapos com coloração amarronzada possuem mais chance de sobreviver em um ambiente lamacento e, nessa região, esses sapos são mais adaptados do que os de coloração verde.**

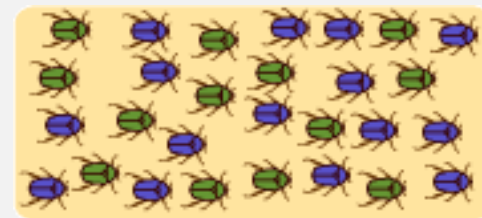
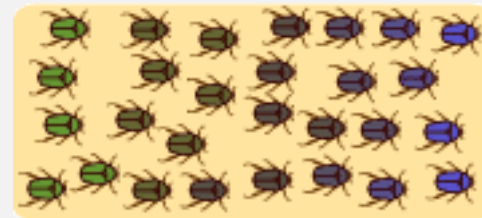
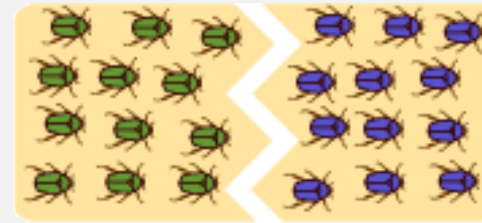
# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Ao longo de milhares de gerações, uma nova espécie se diferenciar de uma população original das seguintes formas:**

- **Alopátrica: uma população é dividida por uma barreira física, e cada população segue um curso diferente de mutações e de seleção natural.**

- **Peripátrica: uma pequena população é isolada na borda de uma população maior, a qual segue um curso diferente de mutações e de seleção natural.**

- **Parapátrica: a barreira entre as duas populações é mais sutil, e permite que ainda haja intercâmbio gênico entre elas, a especiação acontece de forma geograficamente gradual.**

- **Simpátrica: a especiação ocorre dentro de uma mesma população, ocupando a mesma localização geográfica.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Mas o que é espécie?

O conceito de espécie é extremamente disputado: existem cerca de 22 definições diferentes.

Isso ocorre por que espécies são compostas de indivíduos dinâmicos e em evolução, mas nós tentamos classifica-las em classes rígidas.

Assim, espécies são grupos evolucionários reais e não categorias criadas em função de distinções percebidas.

A espécie é a maior unidade não arbitrária acima do indivíduo.

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Tipológico**

Uma espécie tipológica é uma entidade que difere de outra espécie por apresentar características diagnósticas constantes. Espécies são agregados aleatórios de indivíduos que têm em comum as propriedades essenciais (o conceito remonta ao eidos platônico, ou à “essência” ou “natureza” de algum objeto ou organismo)

**Biológico**

Espécies são grupos de populações naturais que podem cruzar entre si e que são reprodutivamente isoladas de outros grupos. Assim, uma nova espécie deve adquirir isolamento reprodutivo como resultado de um processo de especiação; também deve adquirir um novo, estabilizado e integrado genótipo, que a possibilitará adquirir, na maioria dos casos, também um nicho espécie-específico.

Espécies estão localizadas espaço-temporalmente. Elas ocorrem em locais e períodos específicos. Dentro da sua localização espaço-temporal, espécies correspondem a conjuntos contínuos de organismos – essa continuidade é dada pela sua conexão histórica (ancestralidade comum)

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Evolutivo**

Uma espécie evolutiva é uma linhagem (uma sequência de populações ancestrais-descendentes) que evolui separadamente (ou seja, mantém sua identidade) a partir de outras espécies e que possui suas próprias tendências evolutivas e destino histórico.

**Internoidal**

Organismos individuais são da mesma espécie em virtude da pertença comum a uma parte da rede genealógica entre dois eventos permanentes ou entre uma divisão permanente e um evento de extinção.

**Filogenético**

Espécie é uma população ou grupo de populações definidas por uma ou mais condições derivadas.

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**E como os seres vivos são classificados?**

**A classificação parte de alguns princípios:**

- **Ao serem classificadas, as semelhanças morfológicas e estruturais passaram a ser complementadas com informações sobre as relações de parentesco evolutivo entre os grupos.**

- **Organismos com relação de parentesco próxima são mais semelhantes que organismos com relação de parentesco relativamente mais distante. Isto porque parentes próximos tendem a herdar características que estavam presentes em um ancestral em comum.**

- **A filogenética procura determinar essas relações de parentesco e de evolução por um grande número de características comparadas, tais como anatômicas, fisiológicas, comportamentais e moleculares, além das evidências arqueológicas.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

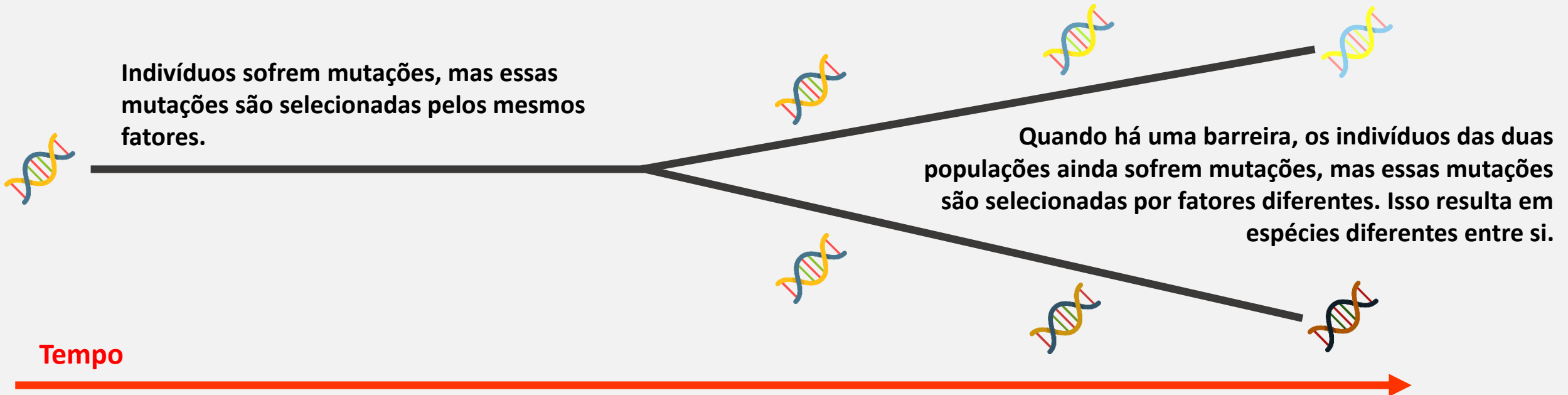
**Em suma...**

**Quando ocorre a especiação, duas populações passam a estar sujeitas à condições ambientais diferentes que selecionam características diferentes.**

**Assim, quanto mais tempo se passa desde a separação das duas espécies, maior o número de diferenças acumuladas entre elas.**

**Essas diferenças refletem no fenótipo, mas podem ser vistas no genótipo.**

**Indivíduos sofrem mutações, mas essas mutações são selecionadas pelos mesmos fatores.**

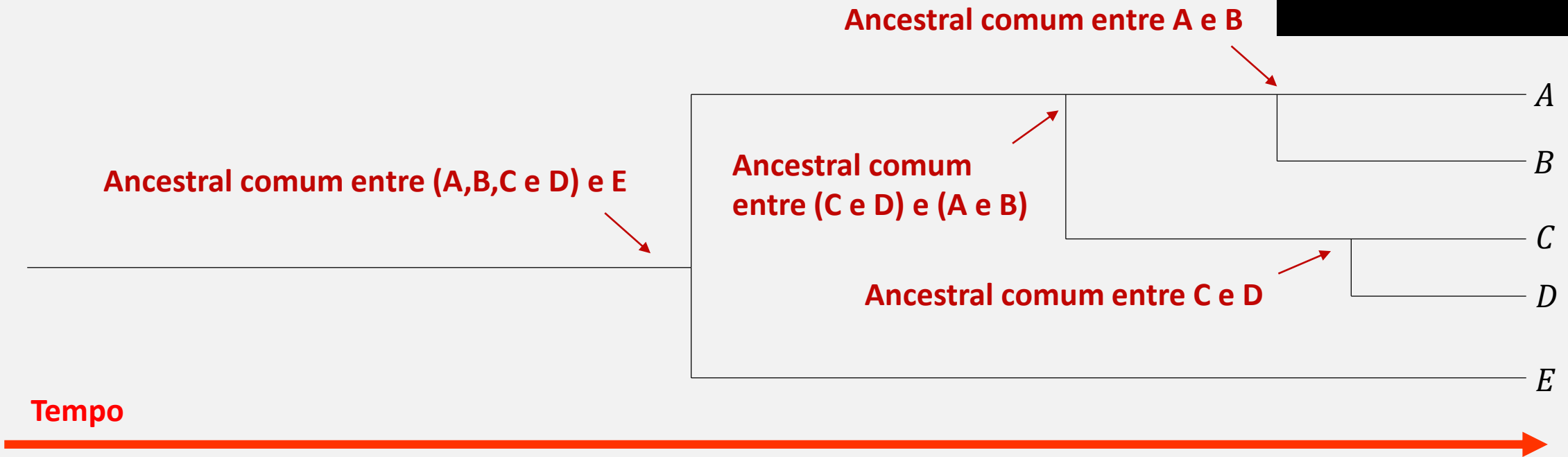
**Quando há uma barreira, os indivíduos das duas populações ainda sofrem mutações, mas essas mutações são selecionadas por fatores diferentes. Isso resulta em espécies diferentes entre si.**

**Tempo**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Em suma...**

**Podemos afirmar que quanto maior a semelhança genética entre duas espécies, mais evolutivamente próximas elas são e, também, a menos tempo elas divergiram.**

 **Semelhança genética**  **Proximidade evolutiva**  **Tempo de divergência**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Em suma...**

Ancestral comum entre A e B

$A$

$B$

Ancestral comum entre (A,B,C e D) e E

Ancestral comum entre (C e D) e (A e B)

$C$

Ancestral comum entre C e D

$D$

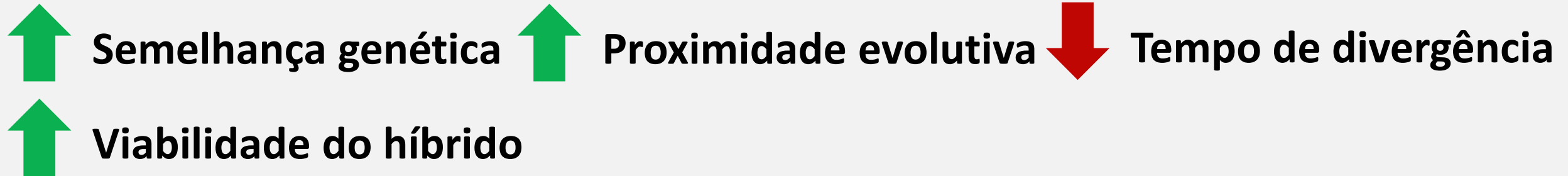
$E$

Tempo

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Então como prever o comportamento de híbridos hipotéticos?**

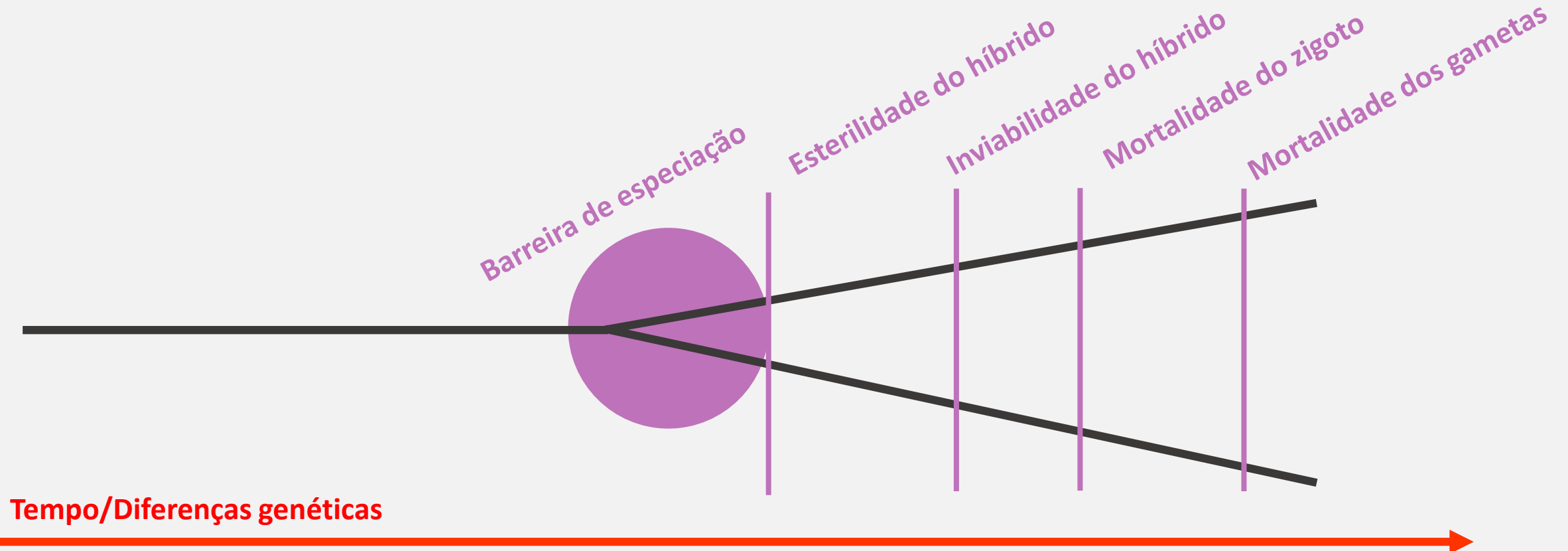
**Assim, se a viabilidade de um híbrido é proporcional à semelhança genética entre duas espécies, a semelhança genética entre duas espécies é proporcional ao tempo decorrido desde a especiação, então...**

***... a viabilidade de um híbrido é inversamente proporcional ao tempo decorrido desde a especiação.***

 **Semelhança genética**  **Proximidade evolutiva**  **Tempo de divergência**

 **Viabilidade do híbrido**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Então como prever o comportamento de híbridos hipotéticos?**

**Ou seja, podemos traçar uma tendência do comportamento dos híbridos entre duas espécies que, em algum momento no passado, divergiram.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Então como prever o comportamento de híbridos hipotéticos?

**Mas ainda temos um problema: sabemos que há uma tendência, mas não sabemos quantificar essa tendência.**

**E de fato nós não saberemos por diversos motivos:**

1. **As diferenças genéticas evoluem em velocidades diferentes em táxons diferentes.**

2. **Existe muito mais documentação sobre casos em que o híbrido ocorre do que sobre casos em que o híbrido não ocorre. Assim, faltam exemplos de mortalidade dos gametas ou do zigoto.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Então como prever o comportamento de híbridos hipotéticos?

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Porquinho da Índia x hamster | Cavia porcellus x Cricetinae | ♂ x ♀ | 73 | Mortalidade dos gametas |
| Hamster x rato | Cricetinae x Rattus | ♂ x ♀ | 32,7 | Mortalidade dos gametas |
| Hamster x camundongo | Cricetinae x Mus | ♂ x ♀ | 32,7 | Mortalidade dos gametas |
| Lebre europeia x coelho doméstico | Lepus europaeus x Oryctolagus cuniculus | ♂ x ♀ | 22,2 | Mortalidade do zigoto, normalmente em blástula |
| Lebre americana x coelho doméstico | Lepus americanus x Oryctolagus cuniculus | ♂ x ♀ | 22,2 | Mortalidade do zigoto, normalmente em blástula |
| | Dicotyles tajacu × Tayassu pecari | ♂ x ♀ | 21,9 | Esterilidade do híbrido |
| Dromedário x lhama | Camelus dromedarius x Lama glama | ♂ x ♀ | 20,56 | Esterilidade do híbrido |
| Dromedário x lhama | Camelus dromedarius x Lama glama | ♀ x ♂ | 20,56 | Mortalidade do zigoto |
| | Babyrousa babyrussa x Sus scrofa | ♂ x ♀ | 19,82 | Esterilidade do híbrido |
| Coelho rabo-de-algodão x coelho doméstico | Sylvilagus x Oryctolagus cuniculus | ♂ x ♀ | 17 | Mortalidade do zigoto, raramente passando de 12 células |
| | Potamochoerus porcus x Sus scrofa | ♂ x ♀ | 16,27 | Esterilidade do híbrido |
| Leopardo x Puma | Panthera pardus x Puma concolor | ↔ | 15,52 | Inviabilidade do híbrido por tendência ao nanismo |
| Golfinho x falsa baleia assassina | Tursiops truncatus x Ceratotherium simum | ♀ x ♂ | 15,52 | Inviabilidade do híbrido |
| Rinoceronte negro x rinoceronte branco | Diceros bicornis x Ceratotherium simum | ↔ | 14,7 | Sem evidência sobre fertilidade |
| | Phacochoerus aethiopicus × Phacochoerus africanus | ♂ x ♀ | 12,17 | Esterilidade do híbrido |
| | Ammotragus lervia x Capra hircus | ♂ x ♀ | 9,8 | Inviabilidade do híbrido |
| Ovelha x cabra | Ovis aries x Capra aegagrus | ↔ | 9,7 | Mortalidade do zigoto ou inviabilidade do híbrido |
| | Sus philippensis x Sus scrofa | ♂ x ♀ | 9,7 | Sem evidência sobre fertilidade |
| Furão x marta | Mustela furo x Mustela vison | ♀ x ♂ | 8,3 | Mortalidade do zigoto |
| Furão x marta | Mustela furo x Mustela vison | ♂ x ♀ | 8,3 | Mortalidade dos gametas |
| Caracal x Serval | Caracal caracal x Leptailurus serval | ↔ | 8,13 | Esterilidade do híbrido |
| Asno x Cavalo | Equus asinus x Equus caballus | ♂ x ♀ | 7,7 | Esterilidade do híbrido |
| Asno x Cavalo | Equus asinus x Equus caballus | ♀ x ♂ | 7,7 | Esterilidade do híbrido |
| Equus x Zebra | Equus x Equus zebra | ♂ x ♀ | 7,7 | Esterilidade do híbrido |
| | Alcelaphus buselaphus x Damaliscus pygargus | ↔ | 7,47 | Sem evidência sobre fertilidade |
| Rato doméstico x Rato ryukyu | Mus musculus x Mus caroli | ♀ x ♂ | 7,41 | Mortalidade do zigoto por resposta imunológica |
| Leão x tigre | Panthera leo x Panthera tigris | ↔ (♂) | 7,4 | Esterilidade do híbrido |
| Leão x tigre | Panthera leo x Panthera tigris | ↔ (♀) | 7,4 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Urso negro x Urso europeu | Ursus americanus x Ursus arctos | ? | 6,4 | Inviabilidade do híbrido |
| Urso negro x Urso polar | Ursus americanus x Ursus maritimus | ? | 6,4 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Urso negro asiático x Urso de óculos | Ursus thibetanus x Tremarctos ornatus | ♀ x ♂ | 6,4 | Esterilidade do híbrido |
| Camelo x dromedário | Camelus bactrianus x Camelus dromedarius | ↔ | 6,35 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Lince euroasiático x Lince pardo | Lynx lynx x Lynx rufus | ↔ (♂) | 5,6 | Esterilidade do híbrido |
| Lince euroasiático x Lince pardo | Lynx lynx x Lynx rufus | ↔ (♀) | 5,6 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Yak x bisão | Bos grunniens x Bison bison | ↔ (♂) | 4,88 | Esterilidade do híbrido |
| Yak x bisão | Bos grunniens x Bison bison | ↔ (♀) | 4,88 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Boi doméstico x bisão | Bos taurus x Bison bison | ↔ | 4,88 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Boi doméstico x bisão americano | Bos taurus x Bison bonasus | ↔ (♂) | 4,88 | Esterilidade do híbrido, mas o parto natural não acontece |
| Yak x bisão americano | Bos taurus x Bison bonasus | ↔ | 4,88 | Inviabilidade do híbrido |
| | Potamochoerus larvatus × Potamochoerus porcus | ♂ x ♀ | 4,85 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Jaguar x leopardo | Panthera onca x Panthera pardus | ↔ (♀) | 4,7 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Jaguar x leopardo | Panthera onca x Panthera pardus | ↔ (♂) | 4,7 | Esterilidade do híbrido |
| Jaguar x leão | Panthera onca x Panthera leo | ↔ (♂) | 4,7 | Esterilidade do híbrido |
| Jaguar x leão | Panthera onca x Panthera leo | ↔ (♀) | 4,7 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Lhama x alpaca | Lama glama x Vicugna pacos | ♂ x ♀ | 4,48 | Esterilidade do híbrido |
| Orangotanto de bornéu x orangotango de sumatra | Pongo pygmaeus x Pongo abelii | ↔ | 4,16 | Sem evidência sobre fertilidade |
| Jaguar x leão | Panthera leo x Panthera pardus | ↔ | 3,82 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| | Addax nasomaculatus x Oryx | ↔ | 3,2 | Sem evidência sobre fertilidade |
| Jacal x cachorro | Canis aureus x canis lupus familiaris | ↔ | 3,11 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Coiote x cachorro | Canis latrans x canis lupus familiaris | ↔ | 2,39 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Lobo x cachorro | Canis lupus lupus x canis lupus familiaris | ↔ | 0,001 | Fertilidade do híbrido |
| Dingo x cachorro | Canis lupus dingo x canis lupus familiaris | ↔ | 0,001 | Fertilidade do híbrido |

**Porém, nós podemos catalogar os híbridos reais documentados pela literatura e os casos em que um híbrido não se forma ou falha, assim como o tempo de divergência entre as espécies.**

**Quanto maior o tempo decorrido desde a especiação, menor a probabilidade do híbrido ser viável. Em outras palavras:**

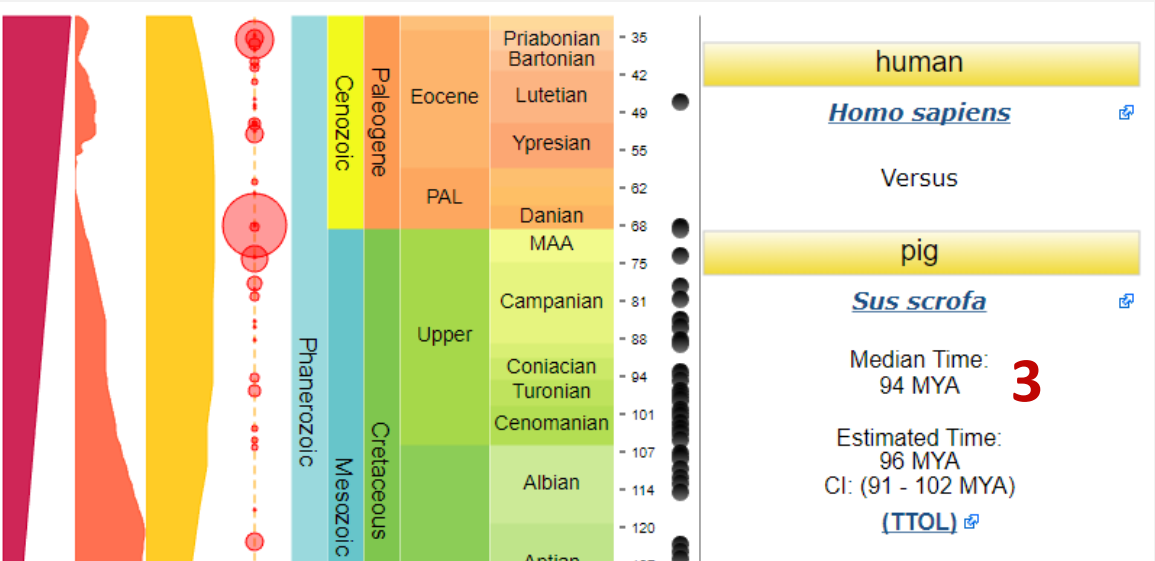
**Espécies que divergiram a mais tempo**

- Mortalidade dos gametas
- Mortalidade do zigoto
- Inviabilidade do híbrido
- Esterilidade do híbrido
- Breakdown da segunda geração
- Híbridos totalmente viáveis

**Espécies que divergiram a menos tempo**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Então como prever o comportamento de híbridos hipotéticos?**

**Podemos obter o tempo de divergência entre duas espécies por meio do http://www.timetree.org.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## Então como prever o comportamento de híbridos hipotéticos?

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Galinha x gato | Gallus gallus x Felis catus | ↔ | 320 | Alegadamente gera híbrido |
| Humano x porco | Homo sapiens x Sus scrofa | ↔ | 96 | Alegadamente gera híbrido |
| Macaco x porco | Hominoidea x Sus scrofa | ↔ | 96 | Alegadamente gera híbrido |
| Ovelha x humano | Ovis aries x Homo sapiens | ↔ | 96 | Alegadamente gera híbrido |
| Gato x coelho | Felis catus x Oryctolagus cuniculus | ↔ | 96 | Alegadamente gera híbrido |
| Cachorro x porco | Canis lupus x Sus scrofa | ↔ | 78 | Alegadamente gera híbrido |
| Ovelha x cavalo | Ovis aries x Equus caballus | ↔ | 78 | Alegadamente gera híbrido |
| Porquinho da Índia x hamster | Cavia porcellus x Cricetinae | ♂ x ♀ | 73 | Mortalidade dos gametas |
| Ovelha x porco | Ovis aries x Sus scrofa | ↔ | 62 | Alegadamente gera híbrido |
| Vaca x porco | Bos taurus x Sus scrofa | ↔ | 62 | Alegadamente gera híbrido |
| Hamster x rato | Cricetinae x Rattus | ♂ x ♀ | 32,7 | Mortalidade dos gametas |
| Hamster x camundongo | Cricetinae x Mus | ♂ x ♀ | 32,7 | Mortalidade dos gametas |
| Lebre europeia x coelho doméstico | Lepus europaeus x Oryctolagus cuniculus | ♂ x ♀ | 22,2 | Mortalidade do zigoto, normalmente em blástula |
| Lebre americana x coelho doméstico | Lepus americanus x Oryctolagus cuniculus | ♂ x ♀ | 22,2 | Mortalidade do zigoto, normalmente em blástula |
| | Dicotyles tajacu × Tayassu pecari | ♂ x ♀ | 21,9 | Esterilidade do híbrido |
| Dromedário x lhama | Camelus dromedarius x Lama glama | ♂ x ♀ | 20,56 | Esterilidade do híbrido |
| Dromedário x lhama | Camelus dromedarius x Lama glama | ♀ x ♂ | 20,56 | Mortalidade do zigoto |
| | Babyrousa babyrussa x Sus scrofa | ♂ x ♀ | 19,82 | Esterilidade do híbrido |
| Coelho rabo-de-algodão x coelho doméstico | Sylvilagus x Oryctolagus cuniculus | ♂ x ♀ | 17 | Mortalidade do zigoto, raramente passando de 12 células |
| | Potamochoerus porcus x Sus scrofa | ♂ x ♀ | 16,27 | Esterilidade do híbrido |
| Leopardo x Puma | Panthera pardus x Puma concolor | ↔ | 15,52 | Inviabilidade do híbrido por tendência ao nanismo |
| Golfinho x falsa baleia assassina | Tursiops truncatus x Ceratotherium simum | ♀ x ♂ | 15,52 | Inviabilidade do híbrido |
| Rinoceronte negro x rinoceronte branco | Diceros bicornis x Ceratotherium simum | ↔ | 14,7 | Sem evidência sobre fertilidade |
| | Phacochoerus aethiopicus × Phacochoerus africanus | ♂ x ♀ | 12,17 | Esterilidade do híbrido |
| | Ammotragus lervia x Capra hircus | ♂ x ♀ | 9,8 | Inviabilidade do híbrido |
| Ovelha x cabra | Ovis aries x Capra aegagrus | ↔ | 9,7 | Mortalidade do zigoto ou inviabilidade do híbrido |
| | Sus philippensis x Sus scrofa | ♂ x ♀ | 9,7 | Sem evidência sobre fertilidade |
| Furão x marta | Mustela furo x Mustela vison | ♀ x ♂ | 8,3 | Mortalidade do zigoto |
| Furão x marta | Mustela furo x Mustela vison | ♂ x ♀ | 8,3 | Mortalidade dos gametas |
| Caracal x Serval | Caracal caracal x Leptailurus serval | ↔ | 8,13 | Esterilidade do híbrido |
| Asno x Cavalo | Equus asinus x Equus caballus | ♂ x ♀ | 7,7 | Esterilidade do híbrido |
| Asno x Cavalo | Equus asinus x Equus caballus | ♀ x ♂ | 7,7 | Esterilidade do híbrido |
| Equus x Zebra | Equus x Equus zebra | ♂ x ♀ | 7,7 | Esterilidade do híbrido |
| | Alcelaphus buselaphus x Damaliscus pygargus | ↔ | 7,47 | Sem evidência sobre fertilidade |
| Rato doméstico x Rato ryukyu | Mus musculus x Mus caroli | ♀ x ♂ | 7,41 | Mortalidade do zigoto por resposta imunológica |
| Leão x tigre | Panthera leo x Panthera tigris | ↔ (♂) | 7,4 | Esterilidade do híbrido |
| Leão x tigre | Panthera leo x Panthera tigris | ↔ (♀) | 7,4 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Urso negro x Urso europeu | Ursus americanus x Ursus arctos | ? | 6,4 | Inviabilidade do híbrido |
| Urso negro x Urso polar | Ursus americanus x Ursus maritimus | ? | 6,4 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Urso negro asiático x Urso de óculos | Ursus thibetanus x Tremarctos ornatus | ♀ x ♂ | 6,4 | Esterilidade do híbrido |
| Camelo x dromedário | Camelus bactrianus x Camelus dromedarius | ↔ | 6,35 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Lince euroasiático x Lince pardo | Lynx lynx x Lynx rufus | ↔ (♂) | 5,6 | Esterilidade do híbrido |
| Lince euroasiático x Lince pardo | Lynx lynx x Lynx rufus | ↔ (♀) | 5,6 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Yak x bisão | Bos grunniens x Bison bison | ↔ (♂) | 4,88 | Esterilidade do híbrido |
| Yak x bisão | Bos grunniens x Bison bison | ↔ (♀) | 4,88 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Boi doméstico x bisão | Bos taurus x Bison bison | ↔ | 4,88 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Boi doméstico x bisão americano | Bos taurus x Bison bonasus | ↔ (♂) | 4,88 | Esterilidade do híbrido, mas o parto natural não acontece |
| Yak x bisão americano | Bos taurus x Bison bonasus | ↔ | 4,88 | Inviabilidade do híbrido |
| | Potamochoerus larvatus × Potamochoerus porcus | ♂ x ♀ | 4,85 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Jaguar x leopardo | Panthera onca x Panthera pardus | ↔ (♀) | 4,7 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Jaguar x leopardo | Panthera onca x Panthera pardus | ↔ (♂) | 4,7 | Esterilidade do híbrido |
| Jaguar x leão | Panthera onca x Panthera leo | ↔ (♂) | 4,7 | Esterilidade do híbrido |
| Jaguar x leão | Panthera onca x Panthera leo | ↔ (♀) | 4,7 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Lhama x alpaca | Lama glama x Vicugna pacos | ♂ x ♀ | 4,48 | Esterilidade do híbrido |
| Orangotanto de bornéu x orangotango de sumatra | Pongo pygmaeus x Pongo abelii | ↔ | 4,16 | Sem evidência sobre fertilidade |
| Jaguar x leão | Panthera leo x Panthera pardus | ↔ | 3,82 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| | Addax nasomaculatus x Oryx | ↔ | 3,2 | Sem evidência sobre fertilidade |
| Jacal x cachorro | Canis aureus x canis lupus familiaris | ↔ | 3,11 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Coiote x cachorro | Canis latrans x canis lupus familiaris | ↔ | 2,39 | Fertilidade do híbrido na F1 |
| Lobo x cachorro | Canis lupus lupus x canis lupus familiaris | ↔ | 0,001 | Fertilidade do híbrido |
| Dingo x cachorro | Canis lupus dingo x canis lupus familiaris | ↔ | 0,001 | Fertilidade do híbrido |

**Então, inserimos alguns dos pares de animais que alegadamente geram híbridos em nossa escala.**

**Concluímos que:**

- **A maioria dos híbridos alegados situam-se com ao menos o dobro do tempo de divergência do que híbridos que não ocorrem por morte dos gametas, e ao menos o triplo dos híbridos mais distantes já registrados entre mamíferos.**

- **A exceção corresponde aos híbridos entre humanos e primatas, que merecem investigações futuras dedicadas.**

- **Para mamíferos, 30 milhões de anos de divergência parece ser tempo suficiente para descartarmos um híbrido hipotético.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

**Em suma...**

**As espécies ___________ e __________ podem gerar híbridos?**

**Sim. Há literatura científica documentado tais híbridos e suas características.**

**Talvez. Elas divergiram a pouco tempo, _____ milhões de anos. Espécies que divergiram a mais tempo conseguem gerar híbridos, então o tema requer mais pesquisa, já que não há menções na literatura científica.**

**Muito provavelmente não. Elas divergiram a muito tempo, _____ milhões de anos. Não conhecemos espécies que divergiram a tanto tempo e que conseguem gerar híbridos. As diferenças genéticas acumuladas entre as duas espécies já são tão significativas que nenhum híbrido consegue ser produzido, pelos mecanismos que estudamos.**

# Desmistificando: Híbridos impossíveis

## “Híbridos” que não são híbridos

**Frequentemente lemos notícias a respeito de “híbridos” criados em laboratório que superam – e muito – os 30 milhões de anos que estabelecemos.**

**Isso acontece porque esses “híbridos” não são híbridos no contexto que estamos lidando.**

**Ou tais são apenas células que contém DNA de duas espécies distintas, produzidas em laboratório, ou são animais que possuem algumas feições de outros animais, produzidos mais uma vez pela combinação artificial de trechos específicos do DNA.**

**Esses “híbridos” não são produto de um cruzamento entre duas espécies distintas e, por isso, não entram na categoria que investigamos.**